

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

УДК 550.83.04

DOI:10.7242/echo.2020.4.12

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОБЪЁМНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ПОРОДНОМ МАССИВЕ ПО ДАННЫМ ТРЁХКОМПОНЕНТНОЙ ЗАПИСИ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

А.И. Бабкин

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Представлены результаты экспериментальных исследований направленности ударного источника упругих колебаний, приложенного к боковой стенке горной выработки при исследованиях в горизонтальной плоскости. Наблюдения проведены с использованием записи сейсмических сигналов трехкомпонентными геофонами, расположенными в горных выработках, разнесённых по глубине и латерали в плоскости YZ . На основании измеренных амплитуд колебаний в нескольких азимутальных направлениях распространения фронтов продольных и поперечных волн в плоскости YZ построены диаграммы направленности источника типа сосредоточенной силы. Полученные данные позволяют оценивать реальную информативность отражённых волн и формировать адекватный граф цифровой обработки при проведении сейсмоакустических исследованиях в горизонтальной плоскости.

Ключевые слова: характеристики направленности источника упругих колебаний, многоволновая сейсмоакустика, трехкомпонентная сейсмическая запись, продольные волны, поперечные волны, амплитуда сейсмической записи.

Опыт сейсмических работ в горных выработках Верхнекамского месторождения солей [1-3] и других рудников [4, 5], в том числе калийных [6-8] показывает, что на сейсмограммах, полученных с использованием точечных ударных источников (кувалда), одновременно регистрируются волны и продольного (Р) и поперечного (S) типов. При этом регистрация волн различного типа производится в едином волновом поле, регистрируемом в рамках традиционных профильных наблюдений с использованием стандартных систем наблюдений МОГТ и однокомпонентных геофонов. Наблюдения из шахтных выработок позволяют изучать массив как в вертикальной (XZ), так и в горизонтальной (XY) плоскостях породного массива. При этом решаются задачи горно-геологического и горнотехнического характера [9]. Для наблюдений в вертикальной плоскости это поиск и локализация геологических неоднородностей в строении вышележающих пород водозащитной толщи [10], а для горизонтальной – картирование в пределах подготавливаемых под очистные работы панелей разного рода физико-геологических неоднородностей от зон литологического замещения [11] до газонасыщенных участков [3] и оценки устойчивости межкамерных целиков [9].

Отметим, что основные задачи шахтных сейсмоакустических методов связаны с изучением верхнего полупространства. Для их решения возбуждения производятся ударными источниками в кровлю выработки, а регистрация осуществляется вертикальными геофонами, установленными на почве впритык к стенке. Исследования по изучению особенностей формирования и распространения сейсмических волн при данной конфигурации расположения источников и приёмников нами проведены ранее в серии полевых экспериментов [1, 12]. Однако для успешной реализации исследований в горизонтальной плоскости в рамках просвечивания отражёнными волнами необходима оценка информативности регистрируемых волн при возбуждениях ударным источником в боковую стенку

штрека. Это требует четких и однозначных представлений о характеристиках направленности волн различного типа при их возбуждении и распространении в горизонтальной плоскости.

Вопросами направленности источников упругих волн во внутренних точках среды занимался ряд исследователей [4, 13-16]. Из них применительно к рассматриваемой тематике следует выделить исследования по изучению направленности источников поперечных сейсмических волн средствами физического моделирования [15] и работы по оценке направленности сейсмических волн при межштрековом просвечивании в угольных пластах на шахтах Донбасса [4].

Для условий наблюдений во внутренних точках выбор начальной модели среды, на наш взгляд, должен основываться на соотношениях пространственных размеров горных выработок и длин генерируемых источником волн. На рис. 1 представлены теоретические диаграммы направленности (а) и движение частиц среды во фронтах волн (б) продольного и поперечного типов для источника колебаний типа сосредоточенной силы, воздействующей в горизонтальном направлении в безграничной однородной среде [14].

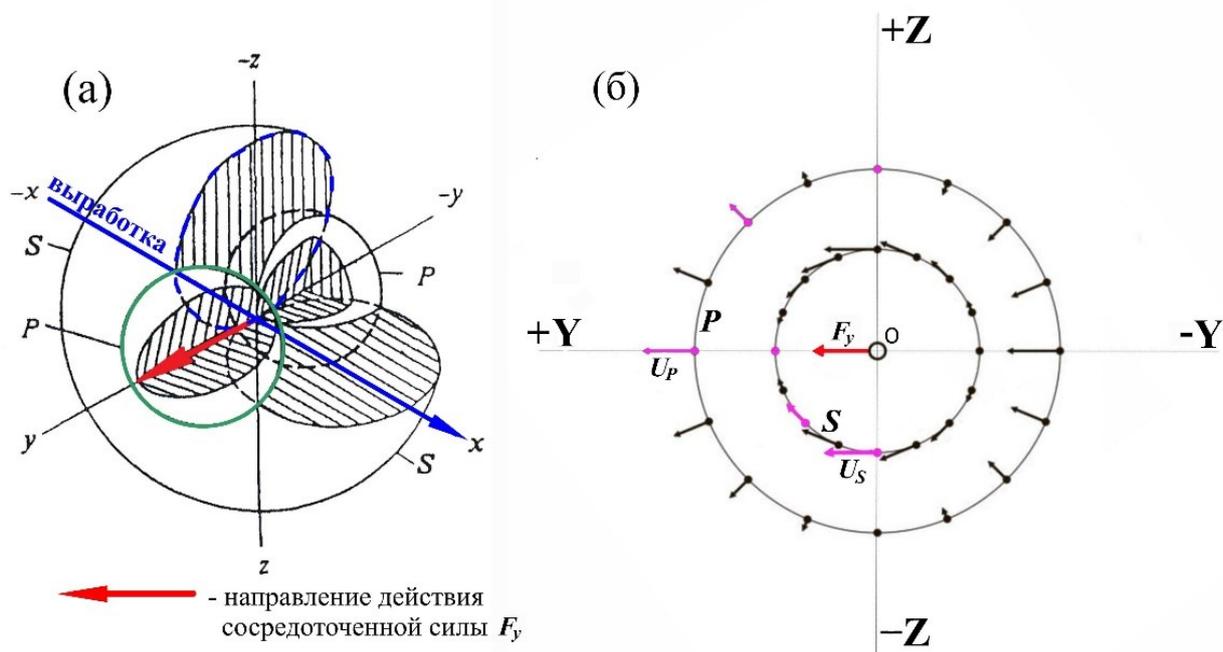


Рис. 1. Теоретические пространственные характеристики направленности P- и S-волн источника силы, действующей в однородном безграничном пространстве (а), и движение частиц среды в распространяющихся в ней фронтах (б)

Применительно к реальным условиям наблюдений в шахтах среда не является однородной, так как сама выработка является максимально контрастной неоднородностью, размеры которой даже в поперечном сечении больше длин генерируемых волн, а в направлении регистрирующей линии можно считать её бесконечной. В этом случае в качестве исходной модели более обоснованным представляется полупространство с характерными для него диаграммами направленности (рис. 2).

Опираясь на данные представления, применительно к горным выработкам калийного рудника для оценки фактической диаграммы направленности источника упругих колебаний, генерируемых приложенной к боковой стенке выработки сосредоточенной силой (направление Y), проведены полевые эксперименты с использованием трехкомпонентной записи в разнесённых по латерали и глубине штреках (рис. 3).

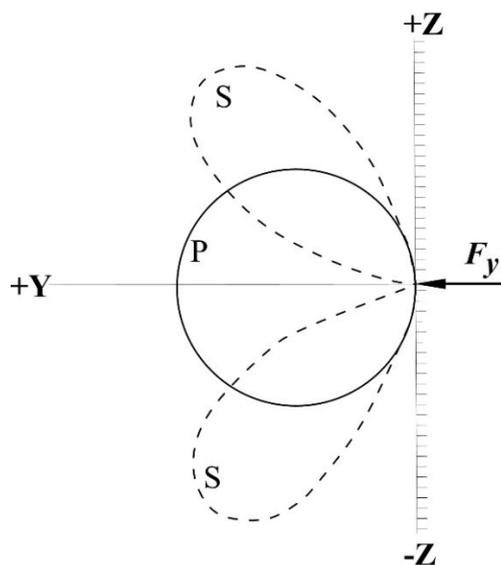


Рис. 2. Теоретическая диаграмма направленности точечного источника типа сосредоточенной силы на поверхности однородного полупространства

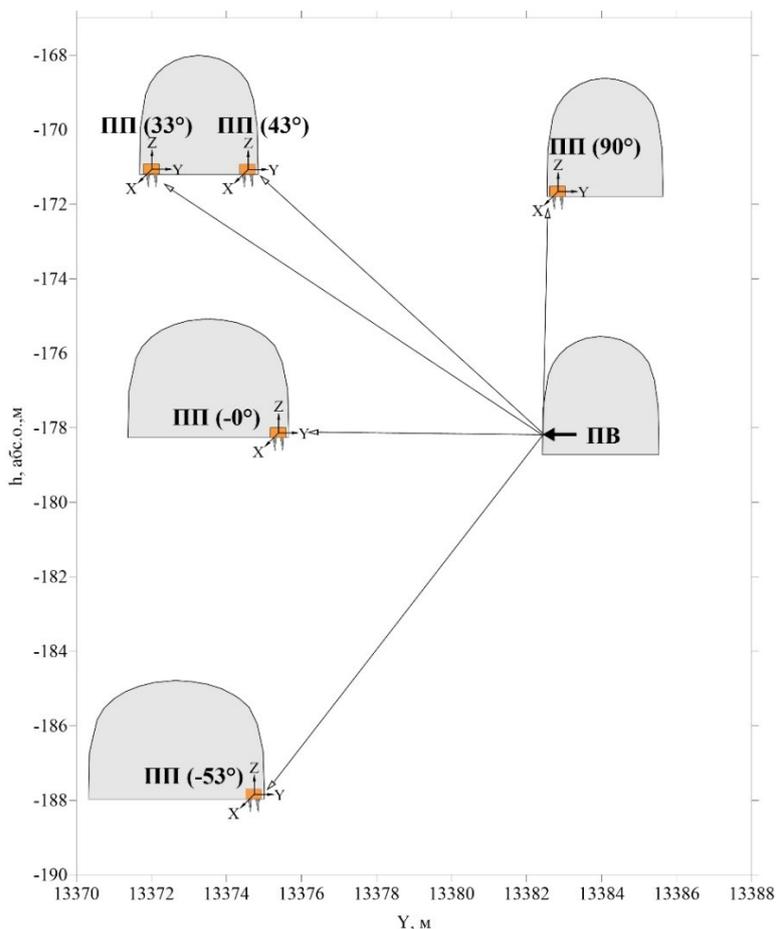


Рис. 3. Схема реализации полевого эксперимента по оценке направленности источника сосредоточенной силы в горизонтальном направлении бокового полупространства горной выработки

Данная схема пространственных наблюдений обеспечивает регистрацию объёмных сейсмических волн, распространяющихся в плоскости YZ в нескольких азимутальных направлениях относительно удара: -53° ; 0° ; 33° ; 43° ; 90° . Амплитуды сейсмических

сигналов в этих направлениях представлены на рис. 4. Выделенные временные интервалы относятся к регистрации продольных и поперечных волн согласно пройденного пути и априорных значений скоростей. В соответствии с направлением колебаний частиц среды во фронтах P- и S-волн (рис. 1б) для количественной оценки их амплитуд выбраны сигналы следующих регистрируемых компонент (табл. 1).

Таблица 1

**Компоненты регистрируемых сигналов,
соответствующие колебаниям во фронтах волн**

	-53°	0°	33°	43°	90°
P-волны	YZ	Y	YZ	YZ	Z
S-волны	YZ	X	YZ	YZ	Y

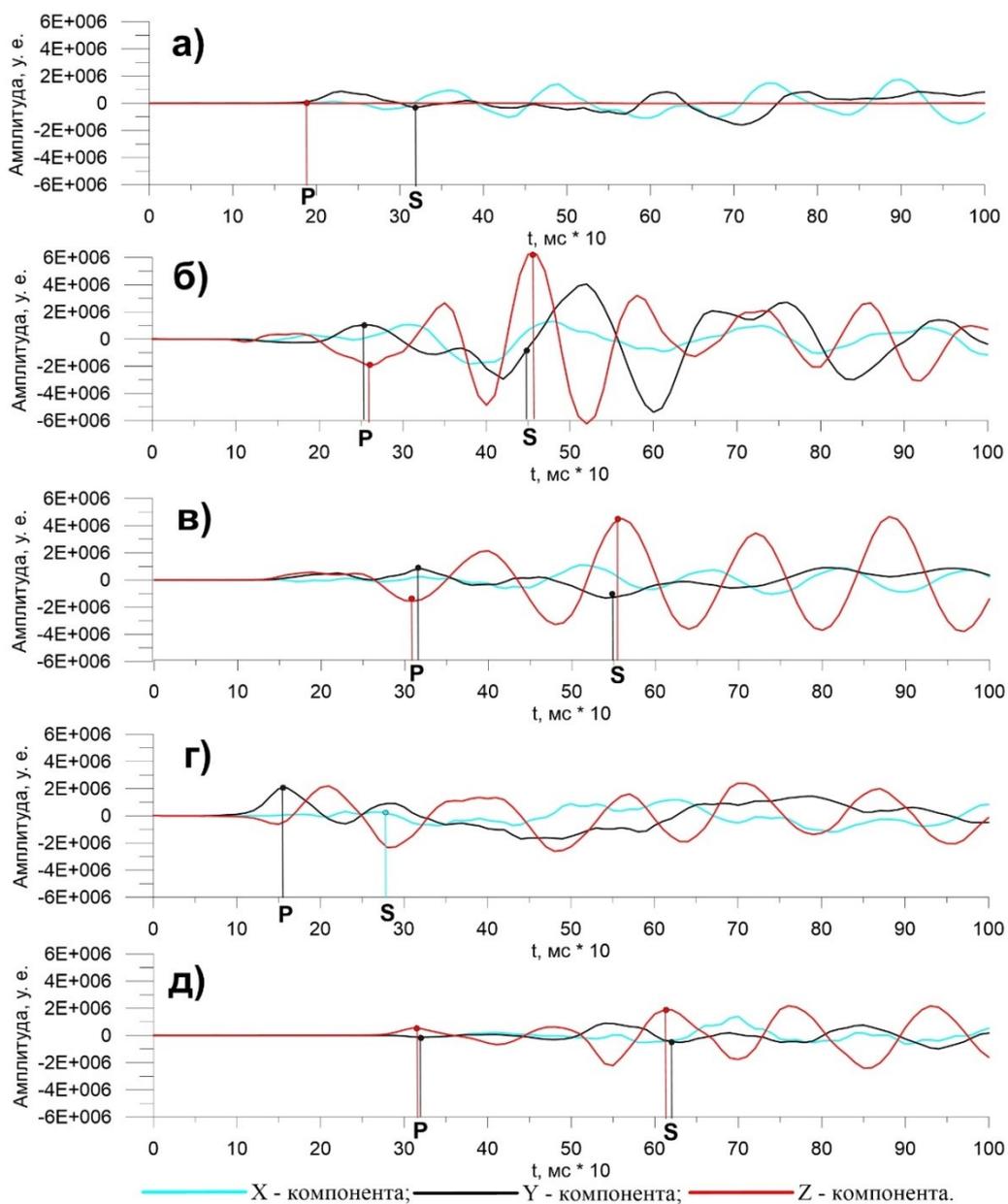


Рис. 4. Сейсмические сигналы, зарегистрированные трёхкомпонентными геофонами при распространении упругих колебаний в азимутальных направлениях: а) 90°; б) 43°; в) 33°; г) 0°; д) -53°

На основании найденных значений амплитуд сейсмических сигналов во фронтах продольных и поперечных упругих колебаний построены экспериментальные характеристики направленности (рис. 5).

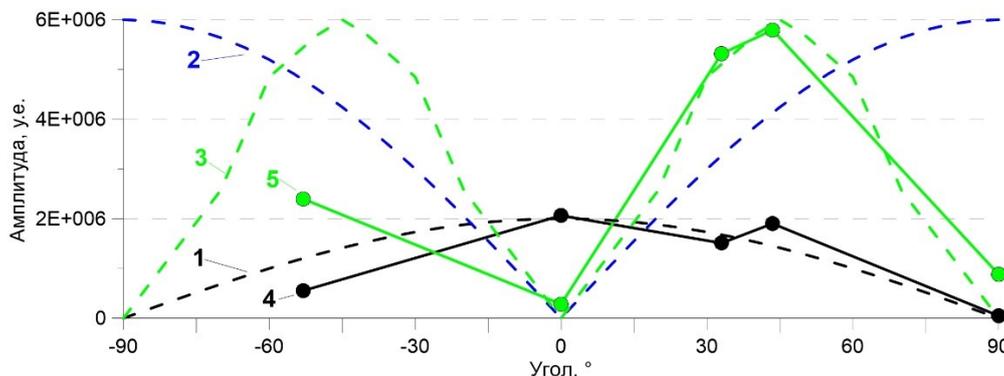


Рис. 5. Сопоставление экспериментальных характеристик направленности Р-волн (4) и S-волн (5), полученных при регистрации в горных выработках калийного рудника трехкомпонентными геофонами и теоретических характеристик направленности для сосредоточенной силы в однородном пространстве (1 – Р-волны, 2 – S-волны) и полупространстве (1 – Р-волны, 3 – S-волны)

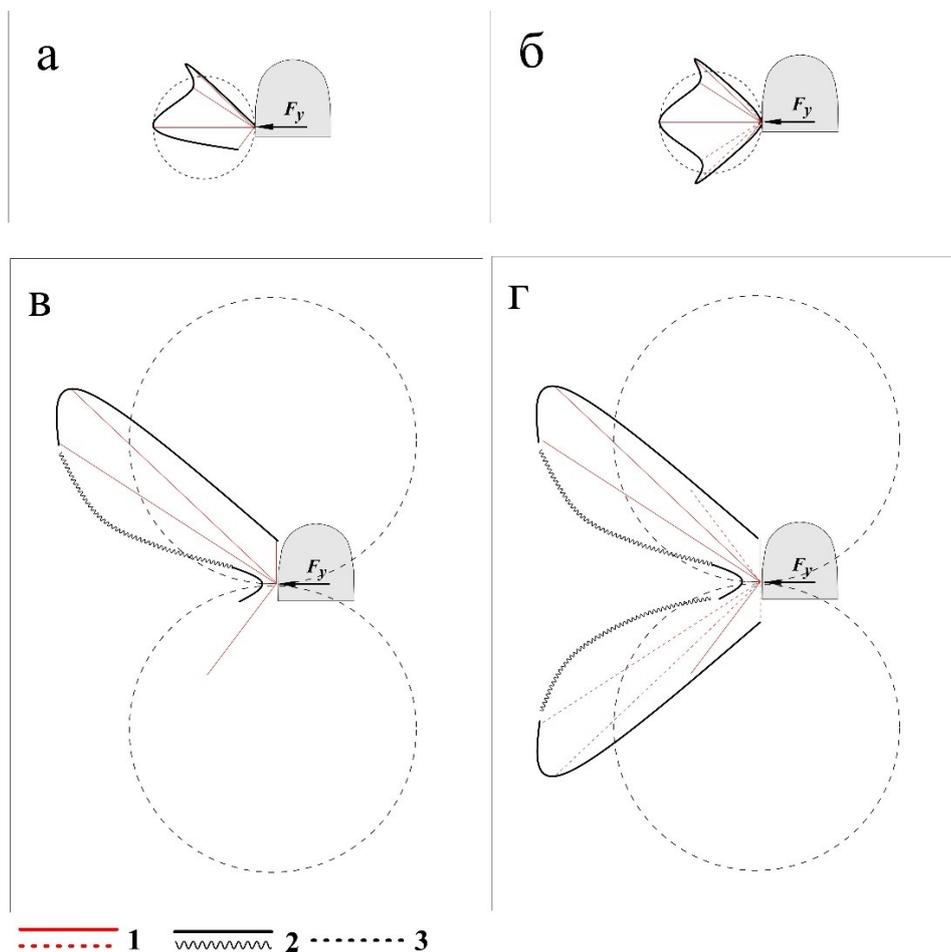


Рис. 6. Экспериментальные диаграммы направленности Р- и S-волн в плоскости YZ, построенные с учётом только азимутов измеренных амплитуд продольных (а) и поперечных (в) волн с симметричным относительно направления удара наложением азимутов продольных (б) и поперечных (г) волн: 1 – азимуты измеренных и симметрично дублированных амплитуд (длина луча пропорциональна амплитуде); 2 – диаграммы направленности, полученные экспериментально; 3 – теоретические диаграммы направленности для однородного пространства

Очевидным является соответствие полученных экспериментальных данных теоретическим представлениям направленности источника типа сосредоточенной силы, приложенной к полупространству, что, несомненно, является весьма важным для корректного анализа регистрируемого волнового поля с целью оценки реальной информативности наблюдений в горизонтальной плоскости и формирования адекватного графа цифровой обработки. К сожалению, имеющаяся на участке работ конфигурация выработок позволила получить только один азимут для определения направленности ниже источника колебаний (-53°). Значение амплитуды поперечных волн в его направлении несколько «выпадает» из теоретических представлений для случаев как однородного пространства, так и полупространства (рис. 5). Возможно, положение точки возбуждения близко к почве выработки изменяет диаграмму в направлениях ниже источника более сложным образом. Не исключено, что при условии симметричности диаграммы и «зеркальном» наложении данных азимута -53° на область положительных углов, а азимутов 33° - 43° - 90° в область отрицательных, характеристика направленности станет ближе к фактической (рис. 6).

Представленные результаты исследований демонстрируют существенное влияние на характеристики направленности источника самой выработки, прилегающих к ней нарушенных пород, пространственного положения точки возбуждения относительно контура выработки. Обеспечение требуемой информативности шахтных сейсмических методов изучения геологической среды должно опираться на ясные и однозначные представления о закономерностях формирования и пространственных упругих колебаний в различных направлениях исследований, которые напрямую связаны с направленностью источников упругих колебаний.

*Исследование выполнено в рамках Программы ФНИ,
проект № 0422-2019-0146-С-02*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабкин А.И. Пространственные интерференционные системы сейсмоакустических наблюдений в условиях горных выработок калийных рудников // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2010. – № 1. – С. 261-267.
2. Санфиоров И.А., Бабкин А.И., Байбакова Т.В. Параметрическое обеспечение шахтной многоволновой сейсмоакустики // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 12. – С. 37-40.
3. Санфиоров И.А., Бабкин А.И., Сальников А.П. Контроль состояния горного массива методами многоволновой шахтной сейсморазведки // Горн. вестн. – 1998. – №6. – С. 94-99.
4. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. – Донецк: Алан, 2003. – 312 с.
5. Carneiro D., Gendzwil D. High-resolution seismic reflection survey in a deep gold mine: 66th Annual Internat. Meeting // SEG Annual Meeting. – Denver, Colorado, 1996. – P. 2069-2071.
6. Gendzwil D.J., Brehm R.. High-resolution seismic reflections in a potash mine // Geophysics. – 1993. – V. 58, № 5. –P. 741-748.
7. Кулагов Е.В. Особенности сейсмических волн, возбуждаемых в массиве соляных пород на Старобинском месторождении // Літасфера. – 2012. – № 2
8. Вагин В.Б. Шахтные сейсмические методы изучения строения массивов соляных пород. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2010. – 186 с.: ил.
9. Бабкин, А.И., Санфиоров, И.А. Практические примеры решения горнотехнических задач методами шахтной сейсмоакустики // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011 – № 4. – С.152-159.
10. Санфиоров И., Бабкин А., Ярославцев А., Герасимова И., Фатькин К., Глебов С. Картирование локальных нарушений водозащитной толщи комплексом многоуровневных сейсморазведочных исследований различной размерности // Инженерная и рудная геофизика – 2019: 15-я юбилейная конф. и выставка, 22-26 апр. 2019. – Геленджик, 2019. – С. 485-495. DOI: 10.3997/2214-4609.201901743.
11. Бабкин А.И., Санфиоров И.А. Сейсморазведочный прогноз литологических неоднородностей в горизонтальной плоскости межштрекового пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 11. – С. 55-60.

12. Babkin A.I., Sanfirov I.A., Macharet A.M. Estimation of information content of mine multi-wave seismic survey for prediction of variability of physical and mechanical properties of rock mass // 16th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2020. – Perm, 2020. – P.
13. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 176 с.: ил.
14. Puzirev N.N. Methods and objects of seismic investigations. Introduction to general seismology. – Novosibirsk: Geo, 2004. – 281 p.
15. Пузырев Н.Н., Бобров Б.А., Гик Л.Д., Тригубов А.В. Исследование направленности источников поперечных сейсмических волн средствами физического моделирования // Геология и геофизика. – 1985. – Т. 26, № 5. – С. 66-75.
16. Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Яценко З.Г. Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород. – М.: Недра, 1969. – 239 с.: ил.

УДК:550.34

DOI:10.7242/echo.2020.4.13

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗАПАДНО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА И СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Л.В. Некрасова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Неравномерность суточного вращения Земли вокруг своей оси оказывает непосредственное влияние на геодинамические процессы, происходящие в земной коре.

Нами впервые был проведен детальный анализ сезонной структуры сейсмических процессов на территории ряда месторождений на различных масштабных уровнях. Это стало возможно благодаря богатому накопленному материалу, который содержат многолетние каталоги сейсмических событий на различных месторождениях.

В данной статье представлены исследования сезонных особенностей техногенных сейсмических процессов на примере Верхнекамского месторождения полезных ископаемых. Было проанализировано более 13 тысяч сейсмических событий с энергией от 1 Дж до 100 тыс. Дж за 24-летний период с 1995 по 2019 год. В результате исследований было выявлено, что реализация событий для Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей происходит по определенным временным законам. Выделены циклы активизации событий, очаги которых с высокой корреляционной связью реагируют на различные компоненты скорости вращения Земли. Определены периоды времени наиболее высокой сейсмической активности для данного месторождения.

Ключевые слова: сейсмическая активность, изменения скорости вращения Земли, Западно-Уральский регион, Верхнекамское месторождение калийных солей.

Неравномерность суточного вращения Земли вокруг своей оси оказывает непосредственное влияние на геодинамические процессы, происходящие в земной коре. На это указывают многие ученые и исследователи: Б.Л. Личко, В.П. Сайгак, М.В. Стovas, Н.И. Николаева и другие.

До 1955 года сведения о неравномерности вращения Земли получали астрономическим и геодезическим методами. С 1955 года для этих целей используют атомные часы. Неравномерность вращения Земли по современным представлениям складывается из трех компонент: вековой, периодической (регулярной) и нерегулярной (непериодической). Регулярные изменения скорости в свою очередь делятся на долгопериодические, сезонные и короткопериодические. Из регулярных вариаций скорости вращения наиболее хорошо изучены в настоящее время сезонные колебания. Итак, скорость суточного вращения Земли бывает максимальной в начале августа. Второй максимум, меньший, чем в июле-августе, имеет место в начале февраля. Минимальные значения скорости наблюдаются в апреле и ноябре. Обычно сезонные колебания длительности суток при-